

## 両脚および片脚スクワットでの静的最大筋力発揮時の運動特性

著者	吉田 孝久, 大山 圭悟, 阿江 通良, 村木 征人
雑誌名	スポーツ方法学研究
巻	16
号	1
ページ	75-82
発行年	2003-03
その他のタイトル	Functional differences during the double and the single legged isometric squat exercises
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/102723">http://hdl.handle.net/2241/102723</a>

## 両脚および片脚スクワットでの静的最大筋力発揮時の運動特性

Functional differences during the double and the single legged isometric squat exercises

吉 田 孝 久 (ミズノ株式会社)

大 山 圭 悟 (筑波大学体育科学系)

阿 江 通 良 (筑波大学体育科学系)

村 木 征 人 (筑波大学体育科学系)

Takahisa Yoshida \*

Keigo Ohyama Byun \*\*

Michiyoshi Ae \*\*

Yukito Muraki \*\*

### Abstract

The double-legged squat exercises have been most widely used by the athletes in a variety of sports as the fundamental training means of strength training. However, single-legged squatting has been used very rarely in practice because it requires only less than the half the load of double-legged which is also practiced with more safety. The purpose of this study was to clarify the functional differences and the training significance between the single and the double legged squat exercises under the execution forms of isometric contraction on both of the half and quarter squatting position from the methodological viewpoint as employing the biomechanical and electromyographic analyses.

Well-trained nationally ranked male student athletes participated to this study with an informed consent as the subjects that included 11 jumpers (5 long-, 2 triple- and 4 high-jumpers) and 4 javelin throwers. In the experiment, one's maximum exertion of squatting in each condition installed the surface EMG electrodes on the major muscles was examined on the force platform (Kistler) twice. The target muscles were erector spinae (both sides), gluteus maximus, gluteus medius, rectus femoris, vastus medialis, biceps femoris caput longum, and adductor longus of the takeoff leg.

The results of the study were summarized as follows:

- 1) Total of the right and the left single-legged squats' outputs were all dominant over the double-legged in both of the half and quarter squatting, which was assumed due to the limited factor of the back strength in transmitting the force generated from the lower limb(s).
- 2) In the single-legged squat, some additional leg extensors such as the muscles of gluteus medius, biceps femoris caput longum, and adductor longus have been activated and mobilized to extend the hip and leg joints, while in the double legged, the supporting elements of the body such as the erector back muscles were more activated.

---

\* MIZUNO Corporation

\*\* Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

- 3) EMG also clearly showed the functional differences of muscular activation between the double and the single-legged, the half and the quarter-squats to support the factors mentioned above.

Key words: Squat, double-legged, single-legged, isometric strength, EMG

## 1. 緒 言

スクワット運動は、多くのスポーツ選手に広範囲に用いられる最も代表的な筋力トレーニング手段の1つである。この理由は、多くのスポーツが陸上の重力下で展開されることにある。そこで体重を支え、敏速に移動するには、抗重力筋としての脊柱起立筋を中心とした体幹および下肢筋群の発達が不可欠なためである<sup>5)</sup>。また、このスクワット運動は、一般に両脚で行われることが多く、片脚での運動は極めて希である。しかし、実際のスポーツ運動での両脚での体重移動は、片脚でのものに比べると逆にむしろ希である。

Zhuk ら (1990)<sup>8)</sup>の報告では、片脚でのスクワット運動を継続して行った場合、その効果は両脚で行ったものと同様な結果が得られ、脊椎や腰の負担が両脚での時よりも少ないため、怪我や故障の予防にもなるとして片脚でのスクワット運動を勧めている。ここでの報告は経験則として述べられたもので、両脚と片脚の出力特性や主働筋群の違いについての検討はされていない。

体力的側面から見た陸上競技の跳躍、投てき種目での競技パフォーマンスは、代表的なスピード・筋力種目とみなされている。それらの選手で

は、主要な下肢および抗重力筋群の発達を目指す筋力トレーニングの基本的手段として、バーベルを用いた各種のスクワット運動が広範囲に用いられている。そして、それらのほとんどが両脚でのスクワット運動である。しかしながら、上記の種目、特に跳躍種目での基本的な脚の体重支持および推進作用は、両脚ではなく片脚運動にある。また、投てき種目の中でも、特にやり投げは運動形態的に最も跳躍種目に近い反面、それらに比べてより筋力面の要求が高く、トレーニングでもスクワット運動がより頻繁かつ広範囲に取り組みされる<sup>4),5)</sup>。

そこで本研究はトレーニング方法上の観点から、両脚と左右片脚毎に競技とトレーニング場面での代表的な膝関節角度を考慮した2種類のスクワット姿勢からの静的最大筋力発揮時の運動特性を検討し、筋力トレーニング面への基礎的知見を得ることを目的とした。

## 2. 研究方法

被験者には、継続的に筋力トレーニングを行っており、比較的速度・筋力要素が高度に求められる大学陸上競技跳躍選手(11名)及び投てき選手(やり投4名)を対象とした(Table 1)。

**Table 1.** Characteristics of the subjects in two groups, jumpers and throwers.  
Figures show means and standard deviations in brackets.

Group	n	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Score (pt) <sup>*3</sup>
Jumpers <sup>*1</sup>	11	178.2(4.4)	67.8(3.9)	20.2(3.0)	959.8(105.7)
Throwers <sup>*2</sup>	4	175.5(5.4)	76.3(4.9)	20.0(1.4)	886.3(107.4)

[Note]

<sup>\*1</sup> Jumpers were consisted of four high jumpers ( $2.14\text{m} \pm 0.09$ ), five long jumpers ( $7.33\text{m} \pm 0.34$ ), and two triple jumpers ( $15.95\text{m} \pm 1.70$ ). Figures put in brackets show means and standard deviations of the personal best performance in each event.

<sup>\*2</sup> Throwers were all javelin throwers ( $64.67\text{m} \pm 6.57$ ).

<sup>\*3</sup> Score point was counted from the personal best record of each subject in different events adopted the "Scoring Tabel" 6) that was provided for the interdisciplinary comparison of the athletic performance levels in different events approved by the then International Amateur Athletic Federation in 1987.

実験は、アイソメトリックラックの基盤にフォースプレート（Kistler社製）を設置し、被験者にはフォースプレート上で膝関節角度を90度（以下、HS: Half Squat）と120度（同、QS: Quarter Squat）の2つのタイプのスクワット姿勢から全力での静的最大筋力発揮を行わせた。その際には、両脚・片脚スクワット共に支持脚の外果と肩峰とを結ぶ線がフォースプレートと垂直になるように動作を規定した。また、片脚スクワットの測定時には、過度の上体前傾を避けるために自由脚を身体前方へ出す姿勢で行わせた。この測定は原則として各2回ずつ行い、それらの良いほうの結果を資料として用いた。なお、実験に際して、被験者には詳細な実験内容と共に、危険を感じた場合にはいつでも中止できる旨を説明し、十分な同意の下に実施した。

フォースプレートから得られたデータはA/Dコンバータを介してパソコンに取り込み、力-時間曲線の最高値（Kmax）とその所要時間（Tmax）から、以下の項目を計測した。

1. 静的最大筋力（Kmax: HSmax, QSmax）
2. 相対最大筋力：体重当たりの静的最大筋力（rHS, rQS）
3. スピード筋力指数<sup>7)</sup>（Kmax/Tmax: HSp, QSp）

本研究で扱った計測項目は、両脚及び片脚毎のスクワットで測定された静的最大筋力を比較するために、両脚（以下、両脚または“Double”と呼ぶ）と左右片脚毎の合計値（以下、これを左右脚または“Singles”と呼ぶ）との関係を検討した。また、脚の左右差問題を検討する際には、被験者らの競技特性を考慮して、跳躍選手の踏切脚と投てき選手の投げの際の前方突っ張り脚（右腕で投げる場合は左足）を踏切脚（TL）、その対側をリード脚（LL）として扱った。

また、主働筋群の作用の違いを検討するために、スクワット運動中の筋電図測定を以下の8つの被験筋について行った：左右の脊柱起立筋（Mm. erector spinae）、踏切脚側の大殿筋（M. gluteus maximus）、中殿筋（M. gluteus medius）、大腿直筋（M. rectus femoris）、内側

広筋（M. vastus medialis）、大腿二頭筋長頭（M. biceps femoris caput longum）、長内転筋（M. adductor longus）。

各筋の活動電位は双極誘導法によりマルチテレメーターシステム（日本光電工業製）を用いて増幅し（時定数0.03s）、データーレコーダー（共和電業社製）にテープ速度1.9m/sで収録した。また、収録された信号は、即時にデジタルオシロスコープ（横河電機社製）およびサーマルアレイレコーダー（日本電気三栄社製）に再生モニタした。

なお、統計処理にはT検定を施し、有意水準は5%以下とした。

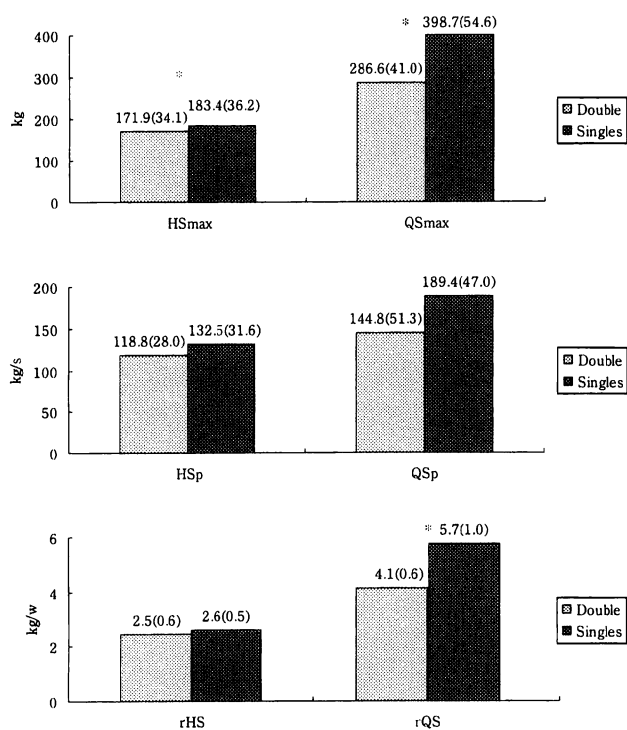
### 3. 結果および考察

#### 3.1 両脚および片脚スクワット出力の比較

Fig. 1は、ハーフスクワット（HS）とクォータースクワット（QS）における各種計測値の全被験者の平均値を、それぞれに両脚（Double）と左右脚（Singles）を比較したものである。これらの計測値は、上記2つの異なるスクワット毎にそれぞれ、静的最大筋力はHSmaxとQSmax、スピード筋力指数はHSpとQSp、相対筋力はrHSとrQSとして区別して表示した。また、Fig. 2は、これらの値を両脚に対する左右脚の相対値（%）として示したものである。

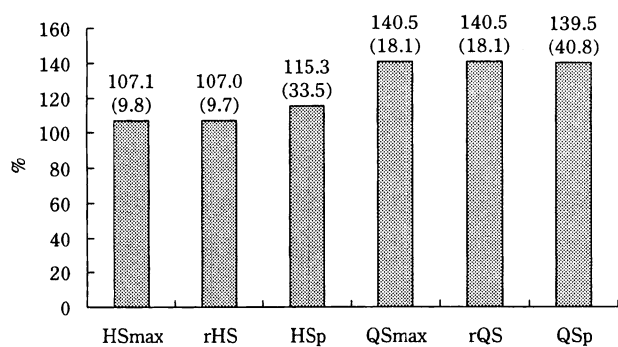
両図に示されたように、すべての項目で左右脚が両脚の値を上回る傾向が示された。中でも、膝関節角度の浅いクォータースクワット（QS）における各項目、即ち、静的最大筋力（以下QSmax）、相対筋力（以下rQS）およびスピード筋力指数（以下QSp）では、両者の間で更に顕著な有意差が認められた（QS>HSおよび左右脚>両脚）。これらは、両脚の値を100とする左右脚の相対値（%）として比較してみると更に明らかである（Fig.2）。

膝関節の伸展力は生力学的条件の影響から、膝関節角度が約60度で最も出力が低く、その後約140度まで増加することが知られており<sup>1),2)</sup>、本実験でも同様な結果が両脚および片脚スクワットの双方で示された。また、直列系にあるClosed



**Fig. 1** Comparison of the variable means of all subjects measured in the Squat Jumps with Double-legged (Double) and the total of left and right Single-legged (Singles)

\*  $p < 0.05$ , mean and SD in the brackets



**Fig. 2** Comparison of the relative value of each parameter in the "Singles" to the "Double" as 100%, mean and SD in the brackets

kinetic chain の最終出力は最も弱い部分に規定されるため、膝関節角度が浅くなるにつれて下肢の出力が高まり、体幹部を中心とした身体の支持能力が全体の筋力発揮に大きく影響したものと考えられる。即ち、両脚および片脚での膝関節角度が深い状態のスクワットでの下肢伸展力は相対的

に小さく、体幹部の支持筋力の許容範囲に収まる。しかし、両脚での浅い状態のスクワットでは、下肢による出力が顕著に増大しても体幹部の支持筋力に制限されるため、片脚毎のスクワット出力の合計値との間に大きな開きが生じたためである。

また、小田 (1998)<sup>9)</sup> は、左右各々による一側性筋収縮と左右同時による両側性筋収縮を筋出力で比較した結果、両側性筋収縮による筋出力が一側性のものに比べ低下すると報告している。その中で、静止した状態で力を発揮する等尺性筋力の両側性低下率（両側筋力の一側筋力に対する比率）は91%であることを示したとし、本実験においてもほぼ同様な結果を示したといえる。さらに出力が高くなる QS 時において、両者の差が顕著に開いた理由としては、一側性筋出力の増大に付随して、前述した Closed kinetic chain により下肢の出力が体幹部の出力に制限されたと考えられよう。（但しここでは、肘・膝および握力等の単関節による一側性および両側性の筋出力を比較したものであるため、本実験のような多関節筋の出力の合計であるスクワット運動とは直接比較することは難しいと思われる。）

以上のことから、陸上運動でのキックの際の地面反力を上体に無駄なく伝えるには、作用線上への身体配列と共に体幹部の支持筋力と関係が深いことを意味する。また、両脚 QSmx は体幹部の支持能力に出力が規定されることから、これが競技成績に影響を及ぼすものと考えられる。これらのことは、両脚 QS は片脚でのものに比べ、脚自体の伸展力より体幹部の支持筋力を高めるためのトレーニング手段としての意義が大きいことを示唆するものである。

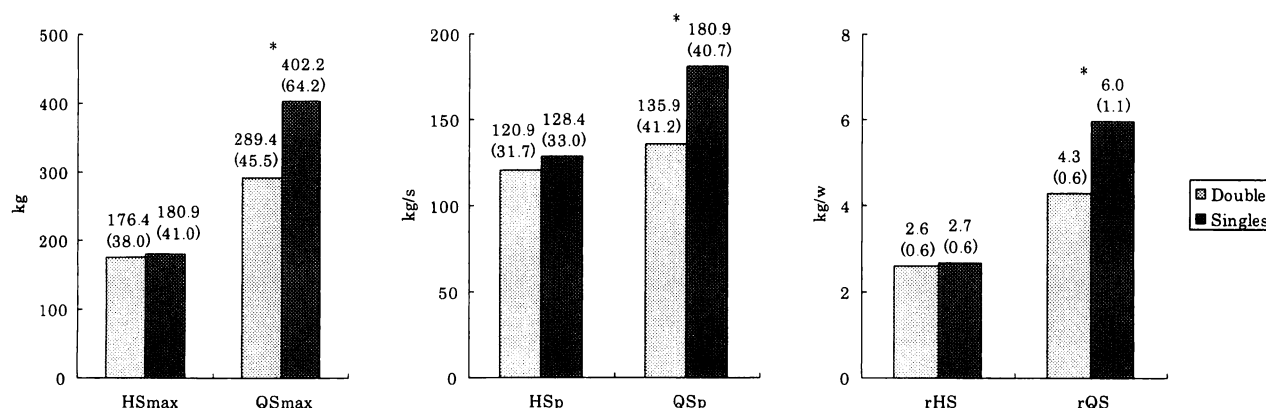
### 3.2 被験者の種目特性（跳躍および投てき）について

#### (1) 両脚および左右脚スクワット出力

Fig. 3 は、跳躍群（上段）と投てき群（下段）それぞれに、両脚 (Double) および左右脚 (Singles) で行った HS と QS での各項目の平均値を比較したものである。

跳躍群では、膝関節角度の浅い QS における最

## (Jumpers)



## (Throwers)

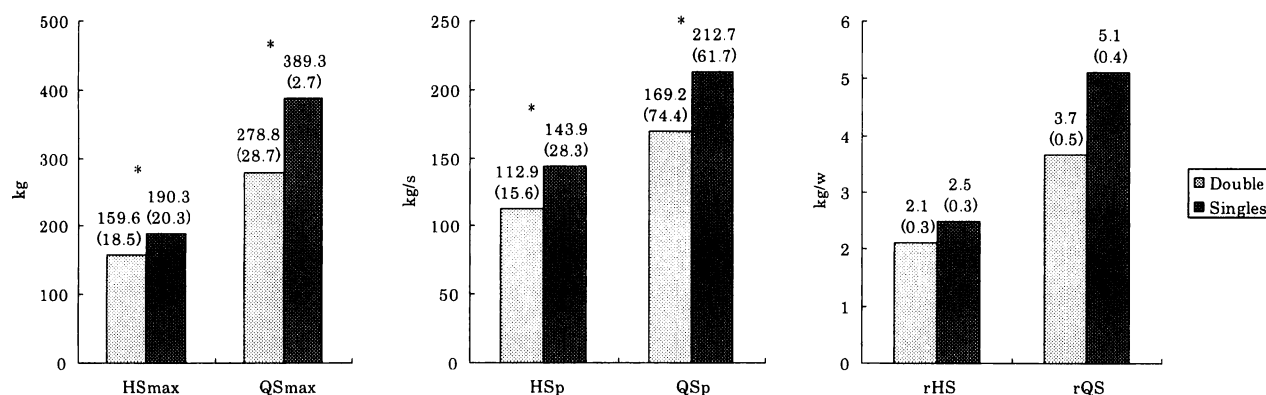


Fig. 3 Comparison of the outputs between the Double and Single(s) legged exercises of the jumpers (upper-side) and throwers (lower-side) \*:  $p < 0.05$ , mean and SD in the brackets

大筋力 (QSmax), 相対筋力 (rQS), および動的筋力 (QSp) のすべてで, 左右脚の出力が両脚より有意に大きかったが, 膝関節角度の深い HS ではすべての項目に両者の有意な差は認められなかった。他方, 投てき群では被験者数が少なかったが, QS の各項目に跳躍群と同様な傾向が示されたのに加え, 深い膝関節角度での HS の最大筋力 (HSmax) とその相対筋力 (rHS) でも左右脚が両脚に有意に優ることが認められた。

跳躍群での主要な運動は, 助走スピードを利用した膝関節角度が浅い状態での片脚踏切運動に特徴づけられる。投てき群でも同様に, 助走で得た運動量を利用してより大きな投てき距離を目指すことにある。そこでは, 投てき動作を通じて出来るだけ長く投てき物を加速するために膝関節角度はより深い位置で構えられることになる<sup>4)</sup>。この膝関節角度は HS 時のものと類似性が高く, し

かも片脚運動にその特徴があることから, 本研究の結果はこれらの種目特性をそれぞれ反映したものと考えられる。

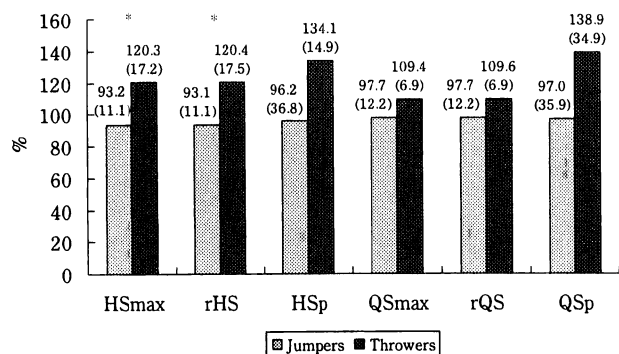
一方, これらの測定項目と被験者らの競技水準との関係について, 競技成績を異なる種目間での競技レベルを横断的に比較できるように考案された Scoring Table (Spiriev B et al. 1987)<sup>6)</sup> で得点化し, 自己最高記録得点との相関関係をみると, 跳躍群の QSmax にのみ相関傾向が見られたが有意なものではなかった。これは, 本研究の被験者が比較的等質かつ少数であったためであると思われる。しかし, 稲岡ら (1993)<sup>3)</sup> の先行研究では, スクワット運動のバリエーションである両脚, 片脚での種々のジャンプ運動と競技記録, およびそれらの運動と本実験の測定項目に類似した各種のスクワット運動記録との間には有意な相関関係が認められている。

## (2) 脚の左右差について

Fig. 4は、脚の左右差を踏切脚とリード脚として区別し、前者の各測定値を100としたリード脚の相対値(%)を跳躍と投てき両群とで比較したものである。図の左半分にはHS、右半分にはQSでのものが示されている。

投てき群ではHSでのリード脚側の出力が踏切脚側のものより有意に大きく、跳躍群では踏切脚とリード脚との間の有意な左右差はすべての項目で認められなかったが、HSでのリード脚側の出力については投てき群とは逆に、踏切脚側より低い傾向が示された。

跳躍選手では一般に、踏切脚の機能亢進が顕著で、競技パフォーマンスとの関係も大である。また、投てき(特に、やり投げ)では、投げの際の前方での突っ張り支持脚(ここでの踏切脚)の作用もさることながら、構えに入る際の反対脚(同リード脚)での深い膝関節角度での支持-推進作用が重視される<sup>4)</sup>。従って、ここで示された上述の結果は、両群の競技パフォーマンスに重要な跳躍群での踏切脚、投てき群では投げの構えを規定するリード脚での主要な機能分化を反映したものと思われる。



**Fig. 4** Comparison of the relative value of each parameter in the “lead-leg” to the “take off-leg” as 100% in jumpers and throwers. \*:  $p < 0.05$ , mean and SD in the brackets

## 3.3 スクワット運動時の筋活動機序

関節角度の異なる両脚と片脚での筋活動の違いをみるため、筋電図による筋活動を測定した。ここでは専門種目による顕著な差はなく、片脚時では

は上体や骨盤の姿勢保持に必要とされる筋群が両脚時の時よりも多くの筋群が動員され、関節角度の違いによる主導筋が大腿直筋(HS)から大腿二等筋(QS)へ変わる特徴的な違いが見られた。

Fig. 5およびFig. 6はその代表例として、それぞれHSとQSについて、同一被験者の両脚(図左列)と踏切脚(同右列)における8つの被検筋のEMG記録を示したものである。腰部の脊柱起立筋については左右両側を被験筋とし、他の6つの被験筋はいずれも左側で、被験者の踏切脚とも同側であった。

両脚と片脚時との比較では、不安定な体勢となる片脚時に多くの筋群の活動が見られた。これは膝関節角度が深く、姿勢保持がより困難とされるHS時に顕著で、特に骨盤のバランス保持に必要とされる中殿筋の活動が見られた。また、QS時における両者の顕著な違いは、片脚時の支持脚(左)側の起立筋の低下と、大腿二頭筋長頭の増幅にあった。

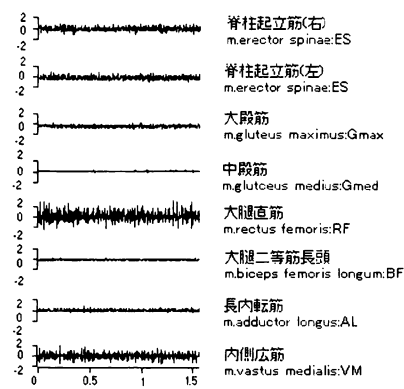
膝関節角度の異なるスクワット(HSとQS)間の違いは、HSでは大腿直筋の放電が顕著であるのに対し、QSでは大腿二頭筋長頭の放電が顕著であったことである。

これらのことは、膝関節角度の違いが、HSでは筋力発揮の主働筋が膝関節の伸展を中心としたものであるのに対して、QSでは股関節の伸展を主にしたものであることを示唆するものである。また、HSおよびQSでの左右脚の出力は両脚でのものを有意に上回っており、片脚スクワット時には片脚での偏心推力に対して、上体や骨盤のバランスを取るためにも作用が高まった中殿筋や内転筋群の動員が、脚伸展作用へもプラスに働いたことと一側性筋出力の増大による効果<sup>9)</sup>であると考えられる。

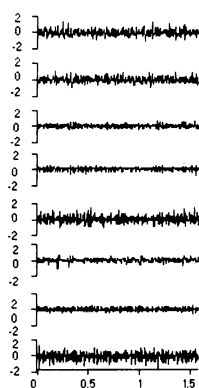
陸上運動での中核となる疾走、跳躍、投てき運動は基本的に片脚支持運動であるため、片脚スクワットと同様、中殿筋や大腿二頭筋、内転筋などの筋群の発達是不可欠である。このため、片脚スクワットは陸上選手にとって極めて重要なトレーニング手段であり、片脚スクワットでの偏心推力からのバランス保持に必要な筋群の強化と共に、

## Half Squat: ハーフスクワット

Double: 両脚



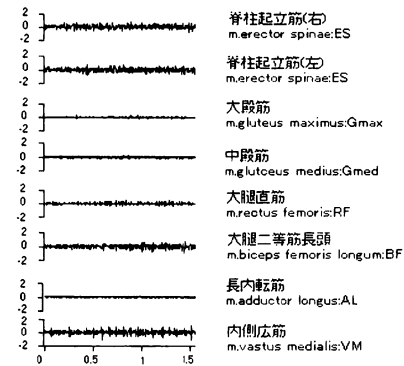
(Singles: 片脚)



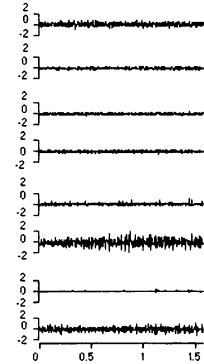
**Fig. 5** Sample EMG during the double-legged and the single (take-off) legged half squat (HS) in the left and right column, respectively.

## Quarter Squat: クォータースクワット

Double: 両脚



(Singles: 片脚)



**Fig. 6** Sample EMG during the double-legged and the single (take-off) legged quarter squat (QS) in the left and right column, respectively.

協同筋の動員による脚伸展力の増加, 更にはトレーニング負荷が両脚時のものより小さくてすむため, 障害の予防にもつながることが示唆される。

他方, 両脚スクワット, 特に QS では, 体幹部の脊柱起立筋での発揮筋力を上回る下肢伸展力の発揮が見込まれることから, 体幹部での左右のバランス良い支持機能の強化と身体の軸づくりに適したものであることが示唆される。従って, トレーニングでは, 片脚および両脚でのスクワット運動をそれらの目的に応じて使い分ける必要がある。

## 4. 総 括

本研究で得られた結果は以下の通りである。

1. 左右脚の出力が両脚に対して有意に大きい結果が示されたのは QSmax, rQS, QSp で, 中でも QS は HS に比べて特に顕著であった。このことは, 膝関節角度が浅くなるにつれて下肢の伸展力が増大する一方, 多関節運動全体としての出力は, 直列系にある他の弱い身体部位の能力, 即ち, ここでは体幹部の支持機能によって規定されるものと考えられる。
2. 種目間に見られた特徴としては, 投てき群では膝関節角度の深い位置での片脚出力が優れており, 跳躍群は片脚での膝関節角度が浅い位置からの相対筋力に優れていることが裏付けられた。
3. 脚の左右差問題については, 跳躍群では踏切脚, 投てき群ではリード脚が, それぞれの反対脚より全ての項目で強い傾向を示した。これらは種目特性からくる脚の機能的役割の違いを反映するものであった。
4. 両脚スクワットに比べ, 片脚時には骨盤や上体のバランスを取るための中殿筋などの動員が顕著になると共に, HS では主として膝関節伸展に関わる筋群が, QS では股関節伸展に関わるのものへと, 膝関節角度の違いによって主要筋群の作用の顕著な違いが EMG 所見から明らかにされた。

本研究結果で得られた知見からは, 以下の実践面への示唆が得られた。

片脚スクワットは, 両脚でのものより遙かに小さな負荷で実行でき, しかも脚伸展時に不可欠な筋群の動員をより大きく図ることも出来る。よって, 脚そのものの筋肉量及び出力アップに主眼を置いたトレーニングには最適な手段であると考えられる。他方, 一般に最も広く用いられている両脚での QS の主たるトレーニング上の意義は, 脚筋力よりもむしろ体幹部の支持機能の発達改善にあり, それぞれの目的に応じた使い分けが重要であろう。



## 参考文献

- 1) 阿江通良, 渋谷侃二 (1983) : その場から高く跳ぶ跳躍-垂直跳のバイオメカニクス. J.J. Sports Sci., 2 (8) : 590-599
- 2) 阿江通良 (1992) : 陸上競技のバイオメカニクス. In : 日本陸上競技連盟 (編) 陸上競技教本 (基礎理論編), 大修館書店, pp.33-35
- 3) 稲岡純史, 村木征人, 国土将平 (1993) : コントロールテストからみた跳躍競技の種目特性および競技パフォーマンスとの関係. スポーツ方法学研究, 6(1) : 41-48.
- 4) 村木征人 (1982) : 現代スポーツコーチ実践講座 2 陸上競技 (フィールド). ぎょうせい, pp.40-67
- 5) 村木征人 (1994) : スポーツ・レーニング理論. ブックハウスHD, pp.102-117, pp.139-146
- 6) Spiriev B, Kovacs G (1987) : Scoring table for track and field, road and walking events. Hungarian Athletic Association.
- 7) ザチオルスキー VM (1972) : スポーツマンと体力. ベースボール・マガジン社, pp.29-33
- 8) Zhuk V, Martynenko N (1990) : An alternative to barbells : an alternative - asymmetrical method of developing strength and speed-strength in your track and field athletes. Soviet Sports Review, 25 (3) : 131-132
- 9) 小田伸午 (1998) : 身体運動における右と左～筋出力における運動制御メカニズム～. 京都大学学術出版会, pp.30-73